

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Pohon dětského lyžařského vleku

Drive for Children's ski Lift

Student:

Michal Meca

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Šárka Hurníková, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Meca**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**
Specializace: **40 Konstrukce strojních dílů a skupin**
Téma: **Pohon dětského lyžařského vleku
Drive for Children's Ski Lift**

Zásady pro vypracování:

Navrhněte pohon dětského lanového lyžařského vleku dle zadanych parametrů:

- délka lanového vleku 40m,
- rychlost lanového vleku 1,2m/s,

kdy lyžař se drží přímo lana. Proveďte popis a řešerši zadaného zařízení a návrh a výpočet pohonu včetně lanovnice.

Nakreslete sestavný výkres pohonu lanového vleku a výrobní výkres lanovnice.

Seznam doporučené odborné literatury:

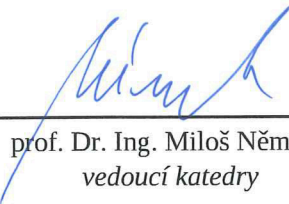
1. Bolek,A.; Kochman,J. *Části strojů I.* Praha: SNTL, 1989. 775s. ISBN 80-03-00046-7
2. Bolek,A.; Kochman,J. *Části strojů II.* Praha: SNTL, 1990. 707s. ISBN 80-03-00426-8
3. Dejl,Z. *Konstrukce strojů a zařízení I.* Ostrava: Montanex, 2000. 225s. ISBN 80-7225-018-3
4. Kaláb,K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části spojovací.* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 90s. ISBN 978-80-248-1290-8
5. Kaláb,K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části pohonů strojů.* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 128s. ISBN 978-80-248-1860-3
6. Leinveber,J.; Vávra,P. *Strojnické tabulky.* Albra-pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2006. 914s. ISBN 80-7361-033-7
7. Remta,F.; Kupka,L. *Jeřáby I.díl.* Praha. SNTL. 1974. 645s
8. Normy, katalogy, prospekty a www-stránky k dané problematice

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Šárka Hurníková, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014


prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry

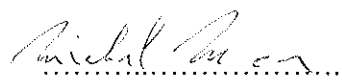



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě: 19.5.2014


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 19.5.2014


.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Michal Meca

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Větrná 20, 742 35 Odry

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MECA, M. *Pohon dětského lyžařského vleku: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2014, 39s. Vedoucí práce: Hurníková Š.

Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukčního řešení pohonu dětského lyžařského vleku. První kapitola se zabývá stručným popisem lyžařských vleků a jejich základních druhů. Druhá kapitola je zaměřená na výběr vhodného konstrukčního řešení a volbu některých částí vleku. Následující kapitola zpracovává výpočtový návrh pohonu vleku. Cílem závěrečné části práce je kontrola vybraných kritických částí pohonu vleku. K bakalářské práci je doložen sestavný výkres pohonu vleku, výrobní výkres svařence hnací kladky a celková sestava kladky.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MECA, M. *Drive for children's ski lift: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine parts and Mechanism, 2014, 39p. Thesis head: Hurníková Š.

The Bachelor thesis deals with the structural proposal of the drive for children's ski lift. There is the brief information of ski lifts and their basic types in the first part. Second part shows some design solutions, selects appropriate one the specified use. Furthermore the calculation of the drive power is described. The aim of last part of this thesis is to check the critical parts of the lift drive. The assembly drawing of the ski lift drive, welding and assembly drawings of driving pulley are included to the Bachelor thesis.

Obsah

Úvod.....	11
1 Lyžařské vleky	12
1.1 Vleky s vysokým vedením lana	12
1.2 Vleky s nízkým vedením lana	13
2 Konstrukční řešení vleku.....	14
2.1 Konstrukce vleku s nízkým vedením textilního lana	14
2.1.1 Vlek se svislou osou hnací kladky a jednoduchým opásáním lana	14
2.1.2 Vlek s vícenásobným opásáním hnacího kotouče	14
2.1.3 Vlek s lany vedenými nad sebou	15
2.2 Zvolený typ vleku a volba některých základních částí	16
2.2.1 Rám.....	16
2.2.2 Pohon	17
2.2.3 Lano	17
3 Návrh pohonu.....	18
3.1 Návrh přepravní kapacity vleku.....	18
3.2 Výpočet vlečné síly	19
3.2.1 Odpor stoupání	19
3.2.2 Odpor smykového tření	19
3.2.3 Odpor proti zrychlování přepravovaných lyžařů.....	20
3.2.4 Celková vlečná síla.....	20
3.3 Výběr pohonu.....	20
3.3.1 Předběžné hodnoty hlavních parametrů pohonu	20
3.3.2 Skutečné parametry pohonu	21
3.4 Brzda	21
3.5 Rozbor sil na hnací kladce a návrh napínací síly	22
4 Kontrolní výpočty	24
4.1 Kontrola lana.....	24

4.1.1 Bezpečnost lana v tahu	24
4.1.2 Prověšení lana.....	25
4.2 Kontrola hnací kladky.....	25
4.2.1 Kontrola přenosu krouticího momentu pomocí těsného pera.....	25
4.2.2 Kontrola svarového spoje hnací kladky.....	27
4.2.3 Kontrola otlačení v lanové drážce	28
4.3 Kontrola vratné kladky.....	28
4.3.1 Kontrola čepu	28
4.3.2 Kontrola ložisek vratné kladky.....	32
Závěr	35
Seznam použité literatury	36
Seznam příloh	39

Seznam použitých značek a symbolů

C	Základní dynamická únosnost ložiska 6009	[N]
C_{0a}, C_{0b}	Statická únosnost ložisek 6009 a 6008	[N]
C_P	Přepravní kapacita vleku	[osob/hod]
F_A, F_B	Celkové radiální síly v ložiscích při maximálním zatížení	[N]
F_{Ay}, F_{By}	Radiální síly v ložiscích v rovině x-y při maximálním zatížení	[N]
F_{Az}, F_{Bz}	Radiální síly v ložiscích v rovině x-z při maximálním zatížení	[N]
F_a	Odpor setrvačnosti	[N]
F_c	Napínací síla	[N]
F_{cMD}	Maximální montážní napínací síla	[N]
F_{cM}	Maximální síla na uložení kladky	[N]
F_d	Obvodová síla působící na bok drážky pro pero	[N]
F_g	Odpor stoupání	[N]
F_{mV}	Svislá zatěžující síla na kladce	[N]
F_{r1}, F_{r2}	Radiální síly v ložiscích při provozním zatížení	[N]
F_{s1}	Síla v tažné větvi lana	[N]
F_{s2}	Síla v odlehčené větvi lana	[N]
F_{s1M}	Maximální síla v tažné větvi lana	[N]
F_t	Odpor smykového tření	[N]
F_v	Celková vlečná síla	[N]
L	Celková délka smyčky lana	[m]
L_{10h}	Základní trvanlivost ložiska	[hod]
M_E, M_F	Ohybové momenty v kritických místech	[Nmm]
P	Minimální výkon motoru	[W]
P_l	Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska	[N]
R_{Cy}, R_{Dy}	Reakce vetknutí v rovině x-y	[N]
R_{Cz}, R_{Dz}	Reakce vetknutí v rovině x-z	[N]
R_D	Celková reakce uložení čepu	[MPa]
R_e	Mez kluzu materiálu svařence	[MPa]
S_l	Pevnost zapleteného lana v tahu	[N]
T_B	Brzdný moment na hřídeli elektromotoru požadovaný	[Nm]
T_{Bs}	Brzdný moment na hřídeli elektromotoru skutečný	[Nm]
T_{Bk}	Brzdný moment na kladce	[Nm]
T_h	Maximální krouticí moment pohonu	[Nm]

T_k	Krouticí moment na kladce	[Nm]
T_k'	Předběžný krouticí moment na kladce	[Nm]
a	Zrychlení vleku	[m·s ⁻²]
a_s	Výška svaru	[mm]
b	Šířka pera	[mm]
c	Maximální počet lyžařů na vleku	[-]
d_E, d_F	Průměry čepu v kritických místech	[mm]
d_h	Průměr výstupního hřídele převodovky	[mm]
d_k	Průměr lanové kladky	[mm]
d_k'	Předběžný průměr lanové kladky	[mm]
d_n	Vnější průměr náboje kladky	[mm]
e	Základ přirozeného logaritmu	[-]
e_1	Výpočtový součinitel pro kuličková ložiska	[-]
f_0	Výpočtový faktor ložiska 6009	[-]
f_1	Součinitel smykového tření mezi obložením kladky a lanem	[-]
g	Gravitační zrychlení	[m·s ⁻²]
h_p	Průvės lana	[m]
i	Převodový poměr převodovky	[-]
k_4	Převodní součinitel koutového svaru namáhaného smykem	[-]
k_1	Součinitel bezpečnosti lana v tahu	[-]
k_s	Součinitel statické bezpečnosti svaru	[-]
l	délka pera	[mm]
l'	Užitečná délka pera	[mm]
l_{ξ}	Délka vetknutí čepu	[mm]
l_v	Šikmá délka vleku	[m]
l_{vv}	Vodorovná délka vleku	[m]
m_1	Hmotnost jednoho metru lana	[g]
m_c	Celková hmotnost lyžařů na vleku	[kg]
m_L	Hmotnost lana	[kg]
m_k	Hmotnost vratné kladky	[kg]
m_o	Průměrná hmotnost jednoho lyžaře	[kg]
n_k'	Předběžné otáčky kladky	[min ⁻¹]
n_v	Výstupní otáčky převodovky	[min ⁻¹]
p	Měrný tlak v drážce pro pero náboje kladky	[MPa]
p_D	Dovolený tlak pro náboj hnací kladky	[MPa]

p_p	Měrný tlak v lanové drážce	[MPa]
p_t	Střední měrný tlak v rámu	[MPa]
p_w	Exponent Wöhlerovy křivky pro ložiska s bodovým stykem	[-]
r_l	Vzdálenost lyžařů	[mm]
s	Stoupání svahu	[%]
s_0	Statická bezpečnost ložiska	[-]
t_l	Hloubka drážky pro pero v náboji	[mm]
t_d	Doba jízdy	[s]
t_s	Tloušťka svaru	[mm]
v_l	Rychlost lana	[m·s ⁻¹]
σ_{oD}	Dovolené ohybové napětí	[MPa]
σ_{oE}, σ_{oF}	Ohybová napětí v kritických místech	[MPa]
τ_s	Smykové napětí v koutovém svaru	[MPa]
τ_{sDov}	Dovolené napětí svaru ve smyku	[MPa]
α	Úhel stoupání svahu	[°]
α_o	Úhel opásání hnací kladky	[rad]
μ	Součinitel smykového tření mezi sněhem a lyžemi	[-]

Úvod

Sjezdové lyžování je v naší krajině velmi oblíbeným sportem rozšířeným v širokém spektru obyvatelstva. Není výjimkou, že se na sjezdovce prohánějí děti mladší 3 let. Téměř každé lyžařské středisko nabízí kromě hlavních sjezdových tratí také mírnější svah určený pro děti a začínající lyžaře. Tyto tratě musí být vybaveny vlekem, který umožní dětem snadnou a bezpečnou přepravu do svahu.

Cílem této bakalářské práce je návrh vhodného konstrukčního řešení pohonu dětského lyžařského vleku s nízkým vedením lana, určení výkonu motoru, návrh brzdy a kontrola vybraných částí pohonu. Vlek bude dimenzován pro děti do 12 let. Výsledné hodnoty bezpečností budou srovnány s minimálními dovolenými hodnotami. Součástí práce je sestavný výkres pohonu vleku, výrobní výkres svařence hnací kladky a celková sestava kladky.

1 Lyžařské vleky

Lyžařský vlek je zařízení sloužící k přepravě lyžařů nebo snowboardistů vlečením po zasněženém povrchu. K pohonu bývá nejčastěji používán elektromotor a tažným elementem je zpravidla ocelové nebo textilní lano. Lyžařské vleky jsou podle zákona č. 70/2002 Sb. takzvaným určeným technickým zařízením dráhy. Jako takové musí být opatřeny průkazem způsobilosti, který na základě technické prohlídky a zkoušky vydává drážní správní úřad, zároveň podléhají pravidelným revizím a prohlídkám. [9, 10]

1.1 Vleky s vysokým vedením lana

Vyznačují se ocelovým lanem vedeným mimo dosah lyžařů, vlečná síla je v tomto případě přenášena na lyžaře pomocí unašeče. Nejpoužívanější jsou talířové a dvoustupňové ve tvaru kotvy. Za unašečem následuje pružný element, teleskopická tyč nebo lano a samonavíjecí buben. Tento prvek umožňuje vyrovnávání nerovností na trati, plynulý rozjezd lyžaře a tím snižuje rázové namáhání součástí vleku. Toto unášecí zařízení je s lanem spojeno buďto pevně pomocí svěrného spoje a kloubu nebo mechanickým zachycovačem. Ten dovoluje odpojení unášecího zařízení za chodu v nástupní stanici, toho se využívá hlavně u zásobníkových vleků.



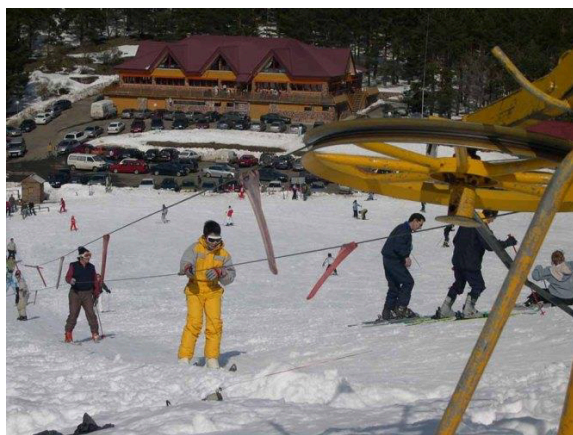
Obr. 1.1 Unašeče tvaru kotvy [20]



Obr. 1.2 Talířové unašeče [21]

1.2 Vleky s nízkým vedením lana

Jedná se nepochybně o nejstarší typ lyžařských vleků vůbec. Jejich charakteristickou vlastností je lano vedené v dosahu lyžařů. Ti se v tomto případě drží přímo textilního lana nebo pevných unašečů při použití lana ocelového. V minulosti byly často používány zachycovače lana, které si přepravovaná osoba vozila s sebou. Tyto zachycovače umožňovaly relativně pohodlnou jízdu i do prudších svahů, jejich nevýhodou byla ale poměrně nízká bezpečnost. Nevýhodou toho, že se přepravované osoby drží přímo lana, je nemožnost podepírání tažné větve lana a z toho vyplývající nemožné přizpůsobování vleku profilu trati. Z těchto důvodů se tyto vleky využívají zejména pro kratší a mírnější svahy, které mají přímý nebo mírně vydutý profil. Vleky s nízkým vedením lana jsou také často využívány pro jiné zimní sporty, jako je sáňkování a jízda na duších.



Obr. 1.3 Vlek s plastovými unašeči [22]



Obr. 1.4. Alternativní využití vleku [23]

2 Konstrukční řešení vleku

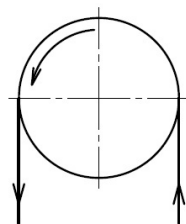
Tato kapitola se zabývá výběrem konstrukčního řešení vleku s nízkým vedením textilního lana, popisem a výběrem některých základních částí tohoto vleku.

2.1 Konstrukce vleku s nízkým vedením textilního lana

Díky tomu, že se jedná o vleky pro přepravu na kratší vzdálenosti a také díky tomu že nemusí být použity rozměrné unašeče, je snaha vytvořit tyto vleky kompaktní a cenově dostupné. Vleky pro přepravu na kratší vzdálenosti navíc díky menším napínacím silám nepotřebují pevné základy, většinou postačuje dvojice pevně zatlučených kolíků v zemi. K nim je pomocí lan uchycen rám vleku. Existuje několik základních konstrukčních variant těchto vleků.

2.1.1 Vlek se svislou osou hnací kladky a jednoduchým opásáním lana

Jedná se o nejjednodušší konstrukční řešení vleku, které se vyznačuje úhlem opásání hnací kladky, který je roven 180° . Z tohoto důvodu vyžaduje tato konstrukce větší napínací síly. Úhel opásání lze částečně kompenzovat využitím pryžového obložení hnacího kotouče, které zlepší třecí poměry. Výhodou tohoto řešení je snadná konstrukce, jednoduchá údržba a možnost snadné úpravy na vlek využívající ocelové lano s krátkými plastovými unašeči, nebo použití textilního lana s plastovými bloky, které usnadňují držení. Nevýhodou je potom možnost použití tohoto typu přibližně do délky 100 [m]. [19]



Obr. 2.1 Jednoduché opásání hnací kladky

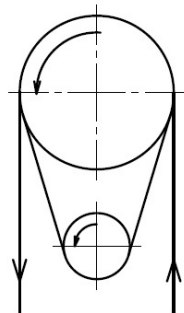


Obr. 2.2 Vlek s jednoduchým opásáním [24]

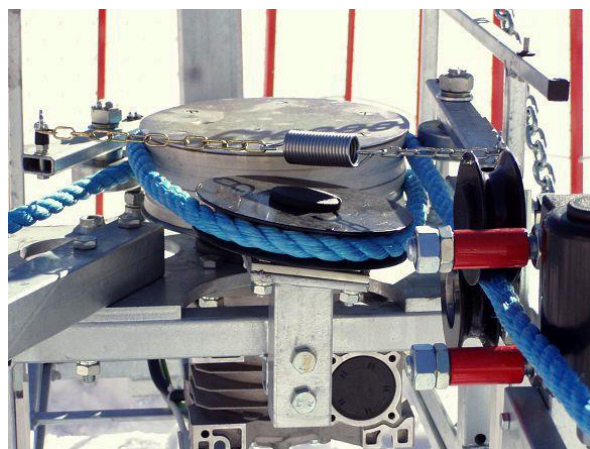
2.1.2 Vlek s vícenásobným opásáním hnacího kotouče

Tato varianta využívá jedné nebo více předlohových kladek k zvýšení opásání hnacího kotouče a z toho plynoucího lepšího přenosu výkonu. Výhodou tohoto typu vleku jsou menší rozměry a možnost použití menších napínacích sil k dosažení stejného výkonu.

Hlavní nevýhodou této konstrukce je větší ohybové namáhání lana a možnost využití pouze textilního lana bez pomocných prvků.



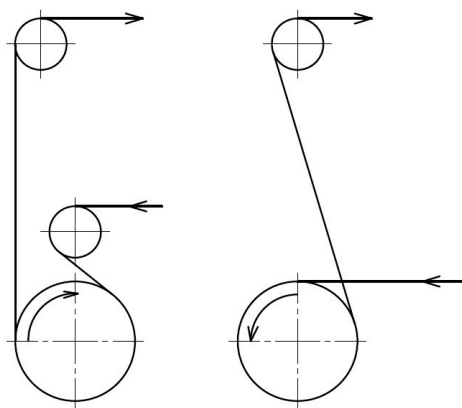
Obr. 2.3 Příklad vícenásobného opásání



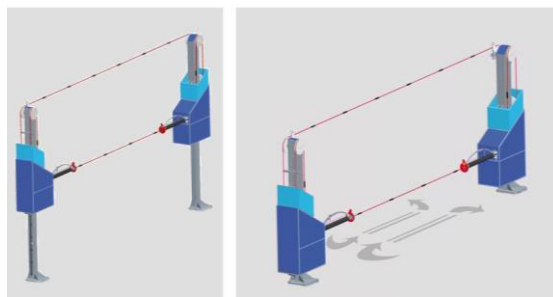
Obr. 2.4 Vlek s vícenásobným opásáním [25]

2.1.3 Vlek s lany vedenými nad sebou

Charakteristickou vlastností tohoto typu je vratná větev, která je v tomto případě vedena nad tažnou. Jedná se o velmi praktické řešení, hlavně z hlediska úspory zastavěného prostoru. Lana vedená nad sebou zároveň eliminují riziko vláčení lana po zemi a navíc umožňují přístup k vleku z obou stran. Z důvodů poměrně velké stavební výšky a relativně vysokého namáhání nosného sloupu je vhodné umístit tento vlek na pevné základy. Z toho důvodu je využíván hlavně ve velkých střediscích se stabilní sněhovou pokrývkou. Tato konstrukce rovněž často využívá některý ze způsobů zvýšení úhlu opásání hnací kladky.



Obr. 2.5 Možná konstrukční řešení opásání



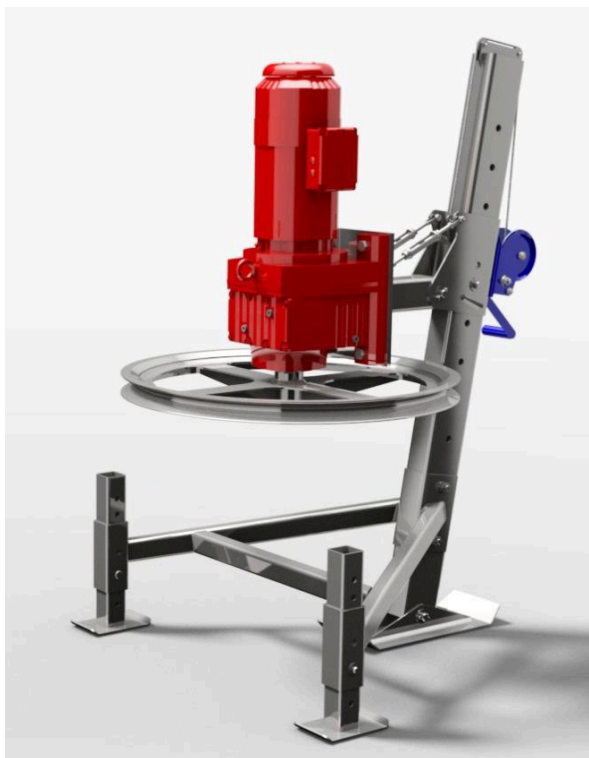
Obr. 2.6 Vlek typu Swiss Cord [26]

2.2 Zvolený typ vleku a volba některých základních částí

Na základě předchozí kapitoly byla zvolena konstrukce vleku s jednoduchým opásáním hnací kladky.

2.2.1 Rám

Rámová konstrukce hnací a vratné stanice musí umožňovat nastavení výšky a sklonu hnací a vratné kladky. Rám stanic by mělo být možno v určité míře přizpůsobit terénu a tím dostat obě stanice do roviny. Zvolená konstrukce je svařena s obdélníkových profilů a ukotvena bude v terénu pomocí dvojice ocelových lan. Pohodlné nastavení výšky pohonu umožňuje posuvná konzole, která může být zvedána pomocí lanového navijáku. Zajištění v dané poloze je realizováno čepem s pojistkou. Napínání vleku je zajišťováno posunem vratné stanice pomocí lanového zvedáku a následného ukotvení pomocí ocelových lan.



Obr. 2.7 Zvolená konstrukce vleku

2.2.2 Pohon

Pohon tažného lana bude zajišťován asynchronním elektromotorem s čelní převodovkou, pomocí hnací kladky. Je třeba zajistit, aby všechny prvky pohonu a elektrických rozvodů byly dostatečně chráněny před vnikem vlhkosti. Hnací kladka bude svařovaná a lanová drážka bude opatřena pryžovou vložkou pro vylepšení třecích poměrů mezi kladkou a lanem.

2.2.3 Lano

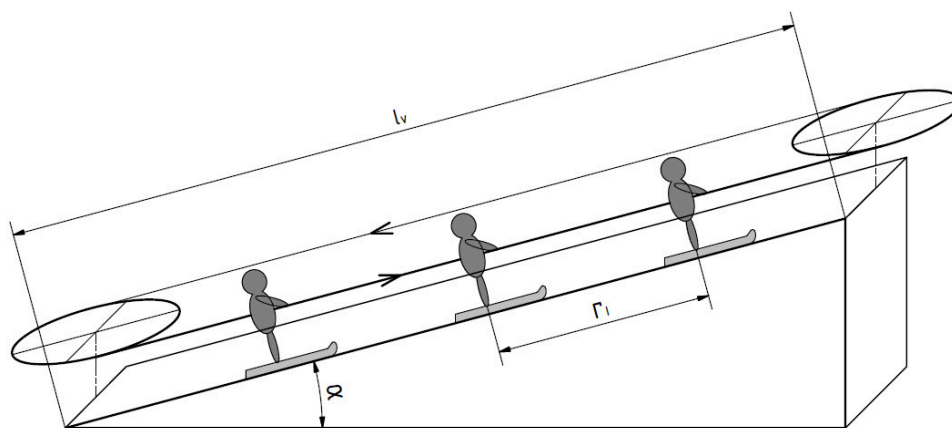
Pro přenos tažné síly bude u zvoleného vleku použito stejnosměrně vinuté polypropylenové lano průměru 20mm. Polypropylenové lano vyniká skvělou odolností proti povětrnostním vlivům a dobrou pevností. [16] Lano je použito jako oběžný prvek, z tohoto důvodu musí být pečlivě zapleteno do oka.

3 Návrh pohonu

Návrh pohonu bude vycházet ze zadaných parametrů vleku jako je rychlost lana $v_l=1,2 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, délka vleku $l_v=40\text{[m]}$, určení vleku pro děti do 12 let a navržené přepravní kapacity vleku. Při návrhu bude počítáno s nejhorsími podmínkami provozu vleku.

3.1 Návrh přepravní kapacity vleku

Pro určení potřebného výkonu elektromotoru a následné výpočty je třeba navrhnout přepravní kapacitu vleku. Při návrhu bude počítáno s minimální bezpečné vzdálenosti mezi lyžaři, která pro účely výpočtu stanovena na $r_l= 5\text{[m]}$.



Obr. 3.1 Profil vleku

přepravní kapacita vleku:

$$C_p = \frac{v_l}{r_l} \cdot 3600 = \frac{1,2}{5} \cdot 3600 = 864 \text{ [osob/hod]} \quad (3.1)$$

Doba jízdy:

$$t_d = \frac{l_v}{v_l} = \frac{40}{1,2} = 33,3 \text{ [s]} \quad (3.2)$$

Maximální počet lyžařů na vleku:

$$c = \frac{l_v}{r_l} - 1 = \frac{40}{5} - 1 = 7 \text{ [osob]} \quad (3.3)$$

3.2 Výpočet vlečné síly

Vlečná síla se bude skládat ze tří základních složek: odporu proti stoupání F_g , odporu smykového tření lyže/sníh F_t a odporu setrvačnosti lyžařů při rozjezdu vleku F_a . Vlečná síla bude dimenzována pro přepravu dětí do 12 let. Průměrná hmotnost 12 letého dítěte je přibližně rovna 42 [kg]. [18] S ohledem na hmotnost lyžařského vybavení bude návrh vlečné síly dimenzován pro hmotnost přepravované osoby $m_o=50$ [kg].

3.2.1 Odpor stoupání

Vlek bude navrhován pro svah do maximálního stoupání $s=20$ [%]. Úhel svahu potřebný pro výpočet bude určen pomocí vztahu 3.4.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{s}{100} = \tan^{-1} \frac{20}{100} = 11,31 [^\circ] \quad (3.4)$$

Celková hmotnost osob na vleku:

$$m_c = m_o \cdot c = 350 \text{ [kg]} \quad (3.5)$$

Odpor stoupání:

$$F_g = m_c \cdot g \cdot \sin \alpha = 350 \cdot 9,81 \cdot \sin 11,31^\circ = 673,37 \text{ [N]} \quad (3.6)$$

3.2.2 Odpor smykového tření

Pro určení odporu smykového tření mezi lyžemi a zasněženým povrchem bude určen součinitel smykového tření pro povrch s nejhoršími kluznými vlastnostmi, hodnoty součinitelů jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Součinitelů smykového tření pro danou jakost sněhu. [12]

Jakost sněhu	Charakter skluzu	μ [-]
Tvrdý, přemrzlý pevný jarní firn	Výborný, dobrý	0,03 – 0,06
Uježděný sníh, krupičkový firn	uspokojivý	0,06 – 0,2
Vlhký, sypký, hluboký, s korou, která se boří	špatný	0,1 – 0,2

Třecí síla:

$$F_t = m_c \cdot \mu \cdot g \cdot \cos \alpha = 350 \cdot 0,2 \cdot 9,81 \cdot \cos 11,31^\circ = 673,36 \text{ [N]} \quad (3.7)$$

3.2.3 Odpor proti zrychlování přepravovaných lyžařů

Jedná se o sílu, která umožní zastavenému vleku rozjezd při plném obsazení. Bude uvažováno se maximálním zrychlením $a=0,5 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-2}]$, momenty zrychlení rotačních hmot budou pro předběžný návrh výkonu motoru zanedbány.

$$F_a = m_c \cdot a = 350 \cdot 0,5 = 175 \text{ [N]} \quad (3.8)$$

3.2.4 Celková vlečná síla

$$F_v = F_g + F_t + F_a = 673,37 + 673,36 + 175 = 1521,73 \text{ [N]} \quad (3.9)$$

3.3 Výběr pohonu

3.3.1 Předběžné hodnoty hlavních parametrů pohonu

Pro návrh potřebných vlastností pohonu byl zvolen střední průměr hnací kladky $d_k'=800\text{mm}$ tak, aby zajišťoval určitou bezpečnou vzdálenost tažné a vratné větve lana. Rychlost lana vleku je rovna obvodové rychlosti středního průměru hnací kladky.

Otáčky hnací kladky

$$n'_k = \frac{60 \cdot v_l}{\pi \cdot d_k' \cdot 10^{-3}} = \frac{60 \cdot 1,2}{\pi \cdot 800 \cdot 10^{-3}} = 28,648 \text{ [min}^{-1}] \quad (3.10)$$

Krouticí moment:

$$T'_k = \frac{F_v \cdot d_k' \cdot 10^{-3}}{2} = \frac{1521,73 \cdot 800 \cdot 10^{-3}}{2} = 608,69 \text{ [Nm]} \quad (3.11)$$

Minimální výkon motoru:

$$P = \frac{T'_k \cdot n'_k \cdot \pi}{30} = \frac{608,69 \cdot 28,648 \cdot \pi}{30} = 1826,1 \text{ [W]} \quad (3.12)$$

3.3.2 Skutečné parametry pohonu

Za pomoci on-line konfigurátoru pohonů byl zvolen třífázový asynchronní elektromotor s vysokou účinností v kombinaci s čelní převodovkou.[18] Motor i převodovka jsou opatřeny povrchovou ochranou OS2. Motor je navíc opatřen ochranou IP 55 a ochranným krytem ventilátoru. Olejová náplň převodovky je uzpůsobena pracovním teplotám a její množství odpovídá pracovní poloze. Označení zvoleného pohonu je R87DRP100L4BE2/C/DH. [18] Kompletní specifikace zvoleného pohonu jsou obsaženy v příloze [A].

Tab. 3.2 Základní parametry pohonu [A]

Výkon motoru	2,2 [kW]
Otáčky motoru	1440 [min ⁻¹]
Napětí	230/400[V], 50[Hz]
Výstupní otáčky převodovky	30 [min ⁻¹]
Maximální výstupní moment	695 [Nm]
Převodový poměr převodovky	47,58 [-]
Dovolené radiální zatížení výstupního hřídele	20000 [N]

Z výstupních otáček převodovky bude navržen průměr hnací kladky, pro dodržení předepsané rychlosti lana.

Střední průměr kladky:

$$d_k = \frac{60 \cdot v_l}{\pi \cdot n_v \cdot 10^{-3}} = \frac{60 \cdot 1,2}{\pi \cdot 30 \cdot 10^{-3}} = 764 \text{ [mm]} \quad (3.13)$$

Hnací moment na kladce:

$$T_k = \frac{F_v \cdot d_k \cdot 10^{-3}}{2} = \frac{1521,73 \cdot 764 \cdot 10^{-3}}{2} = 581,26 \text{ [Nm]} \quad (3.14)$$

3.4 Brzda

Navržený pohon musí být opatřen brzdou, která zabráni zpětnému chodu vypnutého motoru a zároveň urychlí úplné zastavení vleků v případě havárie. Zvolený motor je možno

již od výroby osadit dvěma typy elektromagneticky ovládané diskové brzdy, která pro vyvození přitlačné síly využívá vinutých pružin.

Brzdňý moment na kladce:

$$T_{Bk} = \frac{F_g \cdot d_k \cdot 10^{-3}}{2} = \frac{673,37 \cdot 764 \cdot 10^{-3}}{2} = 257,21 \text{ [Nm]} \quad (3.15)$$

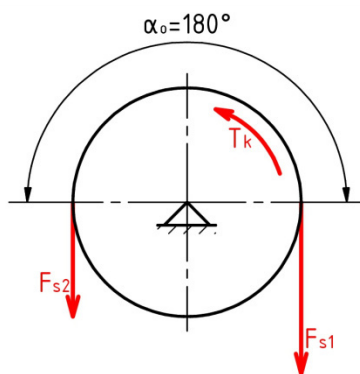
Brzdňý moment na hřídeli elektromotoru:

$$T_B = \frac{T_{Bk}}{i} = \frac{257,21}{47,58} = 5,41 \text{ [Nm]} \quad (3.16)$$

Byla zvolena brzda s označením BE2 s rozsahem brzdňých momentů 5 až 20 [Nm], v závislosti na počtu a typu pružin. Pro zjištění brzdňý moment byl v manuálu výrobce stanoven počet pružin na 4 kusy modře označených pružin, tato konfigurace odpovídá brzdňému momentu $T_{Bs} = 7 \text{ [Nm]}$. [14]

3.5 Rozbor sil na hnací kladce a návrh napínací síly

Pro výpočet silových poměrů na hnací kladce vleku bylo využito výpočtových vztahů pro návrh řemenového převodu, jako obvodová síla je v tomto případě uvažována celková vlečná síla F_L . Úhel opásání lanovnice je $\alpha_o = 180^\circ = \pi \text{ [rad]}$. Součinitel tření mezi pryžovým obložením a lanem se pohybuje v rozmezí 0,25 až 0,3 s ohledem na určitou minimální bezpečnost proti prokluzu bude pro účely výpočtu použita hodnota $f_1 = 0,2 \text{ [-]}$.



Obr. 3.2 Síly na hnací kladce

Síla v tažné větvi:

$$F_{s1} = F_v \cdot \frac{e^{\alpha_o \cdot f_1}}{e^{\alpha_o \cdot f_1} - 1} = 1521,73 \cdot \frac{e^{\pi \cdot 0,2}}{e^{\pi \cdot 0,2} - 1} = 3261,93 \text{ [N]} \quad (3.17)$$

Síla v odlehčené větvi:

$$F_{s2} = \frac{F_v}{e^{\alpha_o \cdot f_l} - 1} = \frac{1521,73}{e^{\pi \cdot 0,2} - 1} = 1740,2 \text{ [N]} \quad (3.18)$$

Napínací síla:

$$F_c = F_{s1} + F_{s2} = 3261,93 + 1740,2 = 5002,1 \text{ [N]} \quad (3.19)$$

Z důvodů obtížnějšího napínání lánovým zvedákem je stanoven horní limit montážní napínací síly o 20% vyšší než stanovená napínací síla.

$$F_{cMD} = F_{cMD} \cdot 1,2 = 5002,1 \cdot 1,2 = 6002,5 \text{ [N]} \quad (3.20)$$

Montážní napínací síla navrhovaného vleku musí být v intervalu 5002,1 [N] až 6002,5 [N].

4 Kontrolní výpočty

Pro účely kontroly bude uvažován nárůst předpětí v laně o 50%, který může být způsoben například zavěšením přepravované osoby na laně nebo námrazou.

Maximální síla v tažné větvi lana:

$$F_{s1M} = F_{s1} \cdot 1,5 = 3261,93 \cdot 1,5 = 4892,9 \text{ [N]} \quad (4.1)$$

Maximální přípustná radiální síla na uložení kladky:

$$F_{cM} = F_c \cdot 1,5 = 5002,1 \cdot 1,5 = 7503,2 \text{ [N]} \quad (4.2)$$

Maximální přípustná radiální síla je menší než dovolené zatížení volného konce hřídele převodovky 20000[N] z tabulky 3.2, navržená převodovka vyhovuje.

4.1 Kontrola lana

Navržené polypropylenové lano bude kontrolováno na tah v tažné větvi při použití maximálního předpětí a na maximální prověšení při minimálním předpětí na odlehčené větvi lana.

Celková délka smyčky lana:

$$L = d_k \cdot 10^{-3} \cdot \pi + 2 \cdot l_v = 764 \cdot 10^{-3} \cdot \pi + 2 \cdot 40 = 82,4 \text{ [m]} \quad (4.3)$$

Pro jednotkovou hmotnost zvoleného lana $m_1=181[\text{g/m}]$, je celková hmotnost smyčky rovna:

$$m_L = m_1 \cdot L \cdot 10^{-3} = 181 \cdot 82,4 \cdot 10^{-3} = 14,91 \text{ [kg]} \quad (4.4)$$

4.1.1 Bezpečnost lana v tahu

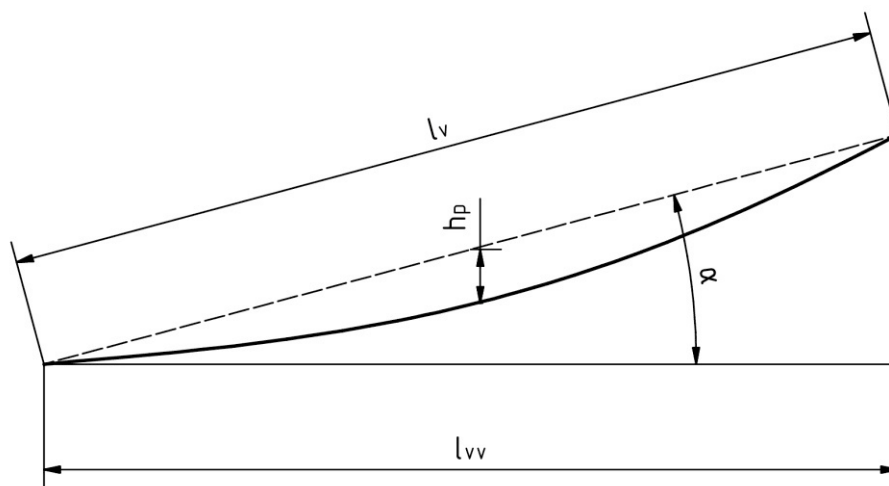
Minimální pevnost zvoleného lana v tahu udávána výrobcem je 62600[N]. Dále výrobce udává snížení pevnosti lana vlivem zapletení smyčky o 10%. Skutečná pevnost zapleteného lana bude potom $S_l = 0,9 \cdot 62600 = 56340 \text{ [N]}$

$$k_l = \frac{S_l}{F_{s1M}} = \frac{56340}{4892,9} = 11,51 \text{ [-]} \quad (4.5)$$

Norma ČSN EN 12 930 [8] stanovuje součinitel bezpečnosti tažného lana lyžařských vleků v tahu v rozmezí 4,0 až 20. Navržené lano tomuto rozmezí vyhovuje.

4.1.2 Prověšení lana

Je třeba zajistit, aby při daných silových poměrech byl průhyb lana vždy menší než výška vedení lana a předejít tak smýkání lana po zemi. Předpokládaná minimální výška vedení lana vleku bude 0,5 [m]. Skutečný průhyb lana je pro účely zjednodušení výpočtu nahrazen parabolickou křivkou. [7]



Obr. 4.1 Schéma podélného profilu lana

Vodorovná vzdálenost stanic:

$$l_{vv} = l_v \cdot \cos \alpha = 40 \cdot \cos 11,31^\circ = 39,223 \text{ [m]} \quad (4.6)$$

Průvės lana: [7]

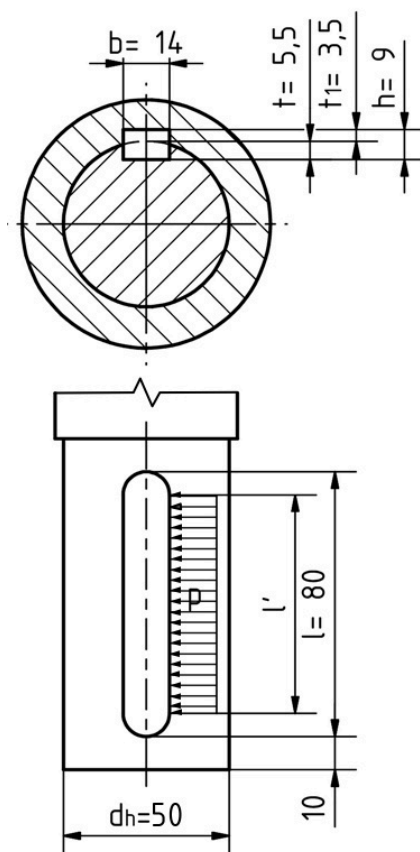
$$h_p = \frac{\frac{m_1 \cdot 10^3}{\cos \alpha} \cdot l_{vv}^2}{8 \cdot F_{s1} \cdot g} = \frac{\frac{181 \cdot 10^3}{\cos 11,31^\circ} \cdot 39,223^2}{8 \cdot 1740,2 \cdot 9,81} = 0,2 \text{ [m]} \quad (4.7)$$

Mezní prověšení lana vyhovuje s dostatečnou rezervou.

4.2 Kontrola hnací kladky

4.2.1 Kontrola přenosu krouticího momentu pomocí těsného pera

Pero bude kontrolováno na maximální tlak v drážce náboje, s ohledem na bezpečnost bude uvažováno s přenosem maximálního výstupního momentu pohonu $T_h = 695 \text{ [Nm]}$ z tabulky 3.2. Jako materiál náboje byla zvolena ocel 11 373, dovolený měrný tlak pro tento materiál je $p_D = 100 \text{ [MPa]}$. [5]



Obr. 4.2 Spoj pomocí pera.

Zatěžující síla:

$$F_d = \frac{T_h \cdot 10^3}{\frac{d_h}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{695 \cdot 10^3}{\frac{50}{2} + \frac{3,5}{2}} = 25981 \text{ [N]} \quad (4.8)$$

Užitečná délka pera:

$$l' = l - b = 80 - 14 = 66 \text{ [mm]}$$

Měrný tlak v drážce:

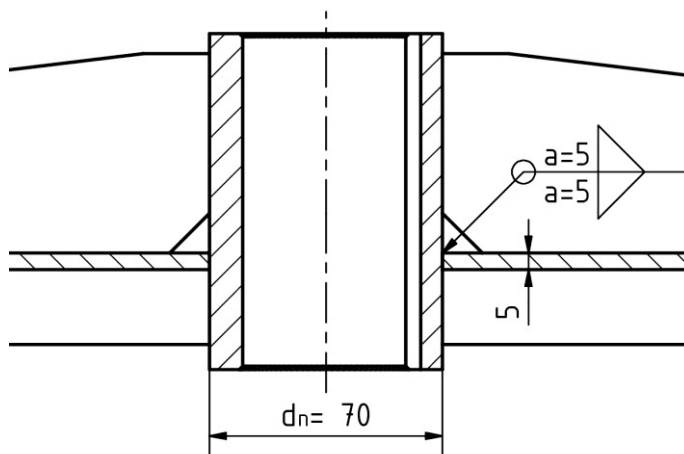
$$p = \frac{F_d}{l' \cdot t_1} = \frac{25981}{66 \cdot 3,5} = 92,79 \text{ [MPa]} \quad (4.9)$$

$$p \leq p_D$$

Navržený spoj pro přenesení maximální moment motoru vyhovuje.

4.2.2 Kontrola svarového spoje hnací kladky

Kontrola oboustranného koutového svaru přenášejícího krouticí moment. Kontrola bude provedena pro zatížení maximálním momentem motoru. Materiál svařovaných součástí je ocel 11 373 s minimální mezí kluzu $R_e = 186 \text{ MPa}$. [1]



Obr. 4.3 Detail kontrolovaného svarového spoje.

Tloušťka svaru:

$$t_s = 1,41 \cdot a_s = 1,41 \cdot 5 = 7,05 \text{ [mm]}$$

Převodní součinitel koutového svaru namáhaného smykem pro ruční svařování elektrickým obloukem za použití drátu o stejné pevnosti jako základní materiál $k_4 = 0,65[-]$. [3] Součinitel statické bezpečnosti je zvolen $k_s = 1,8 [-]$. [3]

Dovolené napětí svaru ve smyku:

$$\tau_{sDov} = k_4 \cdot \frac{R_e}{k_s} = 0,65 \cdot \frac{186}{1,8} = 67,17 \text{ [MPa]} \quad (4.10)$$

Výsledné smykové napětí koutového svaru:

$$\tau_s = \frac{T_h}{2 \cdot W_k} = \frac{T_h}{2 \cdot \frac{\pi}{16} \cdot \frac{(d_n + 2a)^4 - d_n^4}{d_n + 2a}} \quad (4.11)$$

$$\tau_s = \frac{695}{2 \cdot \frac{\pi}{16} \cdot \frac{(70 + 2 \cdot 5)^4 - 70^4}{70 + 2 \cdot 5}} = 8,35 \text{ [MPa]}$$

Napětí ve svarovém spoji je menší než dovolené, spoj vyhovuje.

4.2.3 Kontrola otláčení v lanové drážce

Pro výrobu pryžové vložky byla zvolena pryž s označením B1743, která má dobrou odolnost vůči klimatickým vlivům a otěru, její teplotní rozsah je -40°C až $+100^{\circ}\text{C}$. Minimální pevnost tohoto materiálu je 13 [MPa]. [15] Při výpočtu se vychází z předpokladu, že 2/3 plochy lana jsou v kontaktu s kruhovou drážkou. [4]

$$p_p = \frac{3 \cdot F_{S1M}}{d_{la} \cdot d_k} = \frac{3 \cdot 4892,9}{20 \cdot 764} = 0,96 \text{ [MPa]} \quad (4.12)$$

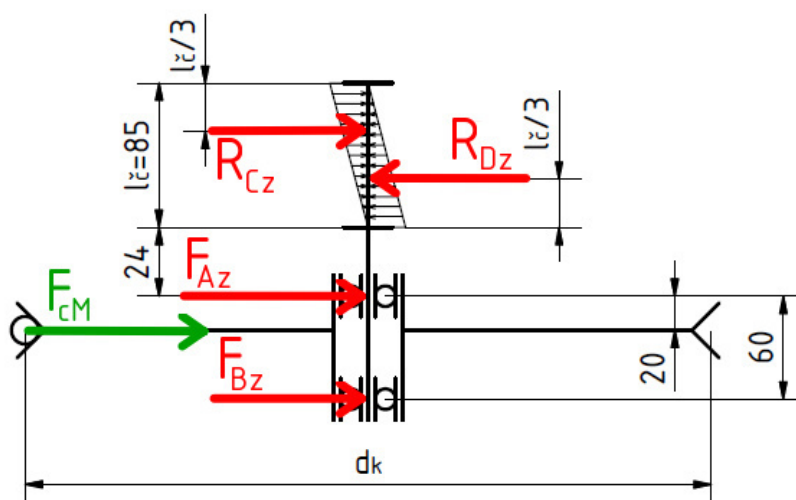
Hodnota tlaku v lanové drážce je výrazně menší než minimální pevnost materiálu, kladka vyhovuje.

4.3 Kontrola vratné kladky

U vratné kladky bude kontrolován čep spojující kladku s rámem a ložiska, ve kterých je kladka uložena.

4.3.1 Kontrola čepu

U čepu vratné kladky bude kontrolováno ohybové napětí v kritických místech a otláčení ve vetknutí. Kontrola bude provedena pro maximální očekávané zatížení, způsobené maximálním přípustným předpětím v laně a za současného působení vertikální síly v jedné větvi lana, to může být způsobeno lyžařem, který se zavěsí za lano v blízkosti vratné stanice.



Obr. 4.4 Schéma vratné kladky v rovině x-z.

Z rovnováhy momentů v náboji kladky vyplývají hodnoty radiálních sil působících na ložiska a čep v rovině x-z:

$$F_{Az} = \frac{40 \cdot F_{cM}}{60} = \frac{40 \cdot 7503,2}{60} = 5002,1 \text{ [N]} \quad (4.13)$$

$$F_{Bz} = \frac{20 \cdot F_{cM}}{60} = \frac{20 \cdot 7503,2}{60} = 2501,1 \text{ [N]} \quad (4.14)$$

Z rovnováhy momentů na čepu před vetknutím a uvnitř vetknutí v rámu, budou určeny reakce vetknutí. Pro účely výpočtu otláčení ve vetknutí bude zanedbán vliv posouvajících sil a bude počítáno pouze s jejich momentovými účinky. [13]

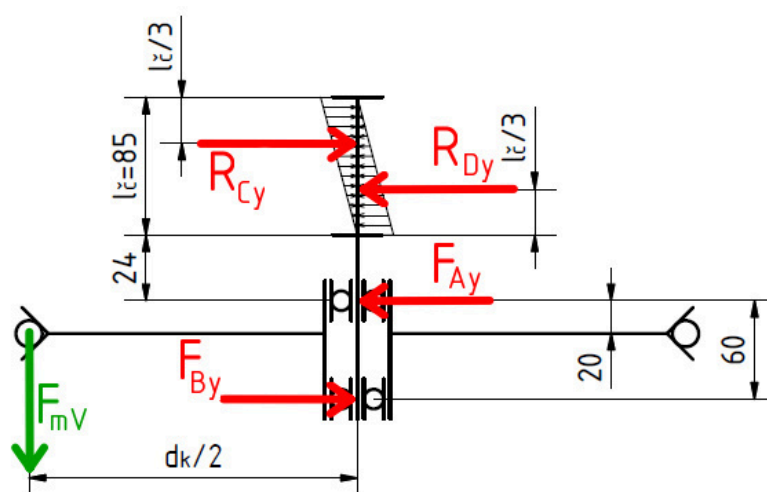
Výpočet reakce vetknutí v rovině x-z:

$$R_{Dz} \cdot \frac{l_{\check{c}}}{3} = F_{Az} \cdot 24 + F_{Bz} \cdot (24 + 60) \quad (4.15)$$

$$R_{Dz} = R_{Cz} = \frac{F_{Az} \cdot 24 + F_{Bz} \cdot (24 + 60)}{\frac{l_{\check{c}}}{3}}$$

$$R_{Dz} = R_{Cz} = \frac{5002,1 \cdot 24 + 2501,1 \cdot (24 + 60)}{\frac{83}{3}} = 11652,1 \text{ [N]}$$

Jako svislá zátěž kladky je uvažována síla $F_{mV}=500\text{[N]}$, která přibližně odpovídá působení přepravované osoby na tažné větvi lana v blízkosti vratné kladky v případě pádu a zachycení lana. Hodnoty radiálních sil působících na ložiska a čep budou zjištěny z rovnováhy momentů na čepu a kladce.



Obr. 4.5 Schéma vratné kladky v rovině x-z.

Výpočet radiální reakce ložisek v rovině x-y:

$$F_{Ay} = F_{By} = \frac{F_{mV} \cdot \frac{d_k}{2}}{60} = \frac{500 \cdot \frac{764}{2}}{60} = 3183,3 \text{ [N]} \quad (4.16)$$

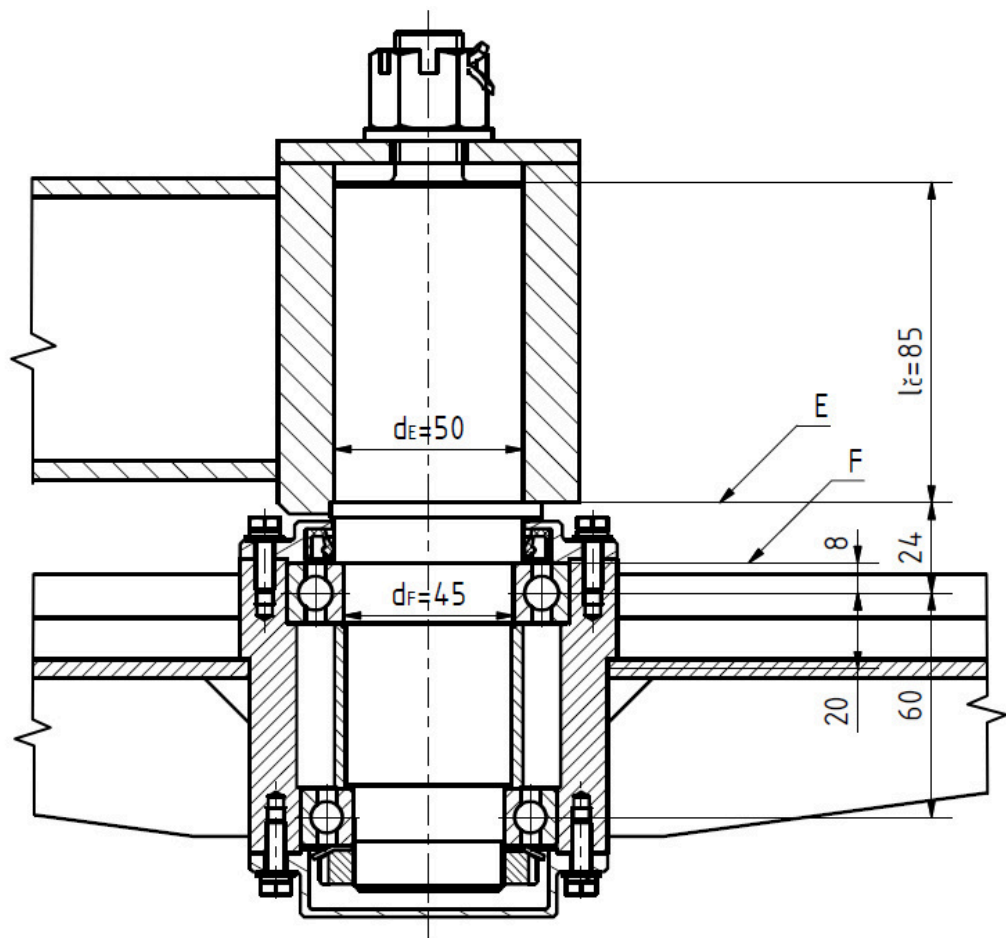
Reakce vetknutí v rovině x-y:

$$R_{Dy} \cdot \frac{l_{\check{z}}}{3} = -F_{Ay} \cdot 24 + F_{By} \cdot (24 + 60) \quad (4.17)$$

$$R_{Dy} = R_{Cy} = \frac{-F_{Ay} \cdot 24 + F_{By} \cdot (24 + 60)}{\frac{l_{\check{z}}}{3}}$$

$$R_{Dz} = R_{Cz} = \frac{-3183,3 \cdot 24 + 3183,3 \cdot (24 + 60)}{\frac{83}{3}} = 6741,2 \text{ [N]}$$

Ohybové napětí bude kontrolováno v kritických průřezech E a F.



Obr. 4.6 Uložení kladky

Výpočet ohybového momentu v místě E, z rovnováhy momentů:

$$M_{Exy} = -F_{By} \cdot (60 + 24) + F_{Ay} \cdot 24 \quad (4.18)$$

$$M_{Exy} = -3183,3 \cdot (60 + 24) + 3183,3 \cdot 24 = -191000 \text{ [Nmm]}$$

$$M_{Exz} = -F_{Bz} \cdot (60 + 24) - F_{Az} \cdot 24 \quad (4.19)$$

$$M_{Exz} = -2501,1 \cdot (60 + 24) - 5002,1 \cdot 24 = -330141 \text{ [Nmm]}$$

$$M_E = \sqrt{M_{Exy}^2 + M_{Exz}^2} \quad (4.20)$$

$$M_E = \sqrt{191000^2 + 330141^2} = 381410 \text{ [Nmm]}$$

Výpočet ohybového momentu v místě F, z rovnováhy momentů:

$$M_{Fxy} = -F_{By} \cdot (60 + 8) + F_{Ay} \cdot 8 \quad (4.21)$$

$$M_{Fxy} = -3183,3 \cdot (60 + 8) + 3183,3 \cdot 8 = -191000 \text{ [Nmm]}$$

$$M_{Fxz} = -F_{Bz} \cdot (60 + 8) - F_{Az} \cdot 8 \quad (4.22)$$

$$M_{Fxz} = -2501,1 \cdot (60 + 8) - 5002,1 \cdot 8 = -210090 \text{ [Nmm]}$$

$$M_F = \sqrt{M_{Fxy}^2 + M_{Fxz}^2} \quad (4.23)$$

$$M_F = \sqrt{191000^2 + 210090^2} = 283934 \text{ [Nmm]}$$

Ohybové napětí v kritickém místě E:

$$\sigma_{oE} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_E}{\frac{\pi \cdot d_E^3}{32}} = \frac{381410}{\frac{\pi \cdot 50^3}{32}} = 31,08 \text{ [MPa]} \quad (4.24)$$

Ohybové napětí v kritickém místě F:

$$\sigma_{oF} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_F}{\frac{\pi \cdot d_F^3}{32}} = \frac{283934}{\frac{\pi \cdot 45^3}{32}} = 31,74 \text{ [MPa]} \quad (4.25)$$

Dovolené ohybové napětí zvoleného materiálu oceli 11600 $\sigma_{oD}=125$ [MPa]. [1]

Součinitel bezpečnosti čepu v místě maximálního napětí:

$$k_o = \frac{\sigma_{oD}}{\sigma_{oF}} = \frac{125}{31,74} = 3,94 [-] \quad (4.26)$$

Minimální bezpečnost prvků napínacího ústrojí při mezním namáhání je stanovena na $k=3[-]$. [9] Čep vratné kladky této podmínce vyhovuje.

Celkové reakce v uložení čepu:

$$R_D = \sqrt{R_{Dy}^2 + R_{Dz}^2} = \sqrt{6741,2^2 + 11652,1^2} = 13461,5 \text{ [N]} \quad (4.27)$$

Kontrola měrného středního tlaku v rámu, podle [13].

$$p_t = \frac{R_D}{S} = \frac{2 \cdot R_D}{d_E \cdot l_\xi} = \frac{2 \cdot 13461,5}{50 \cdot 85} = 6,33 \text{ [MPa]} \quad (4.28)$$

Dovolený měrný tlak materiálu rámu $p_D = 100 \text{ [MPa]}$, zjištěný měrný tlak je menší než dovolený, uložení vyhovuje.

4.3.2 Kontrola ložisek vratné kladky

Vratná kladka bude uložena na dvojici jednořadých kuličkových ložisek. Statická kontrola ložisek je provedena pro maximální zatížení vycházející z kapitoly 4.3.1. Pro účely výpočtu životnosti je uvažováno s maximální dovolenou napínací silou při normálním provozu. Kladka je při normálním provozu zatěžována v radiálním směru napínací silou, ve směru axiálním vlastní tíhou a poloviční tíhou lana. Uložení kladky je navrženo pro minimalizaci ohybového namáhání hřídele tak, že větší část napínací síly přenáší silnější horní ložisko 6009, které je axiálně pevné a zajišťuje přenos axiální síly. Spodní ložisko 6008 je axiálně posuvné.

Statická únosnost ložiska 6009 je $C_{0a} = 14600 \text{ [N]}$ bezpečnost ložiska je potom rovna: [13, 6]

$$F_A = \sqrt{F_{Ay}^2 + F_{Az}^2} = \sqrt{3183,3^2 + 5002,1^2} = 5929,1 \text{ [N]} \quad (4.29)$$

$$s_{0a} = \frac{C_{0a}}{F_A} = \frac{14600}{5929,1} = 2,46 [-] \quad (4.30)$$

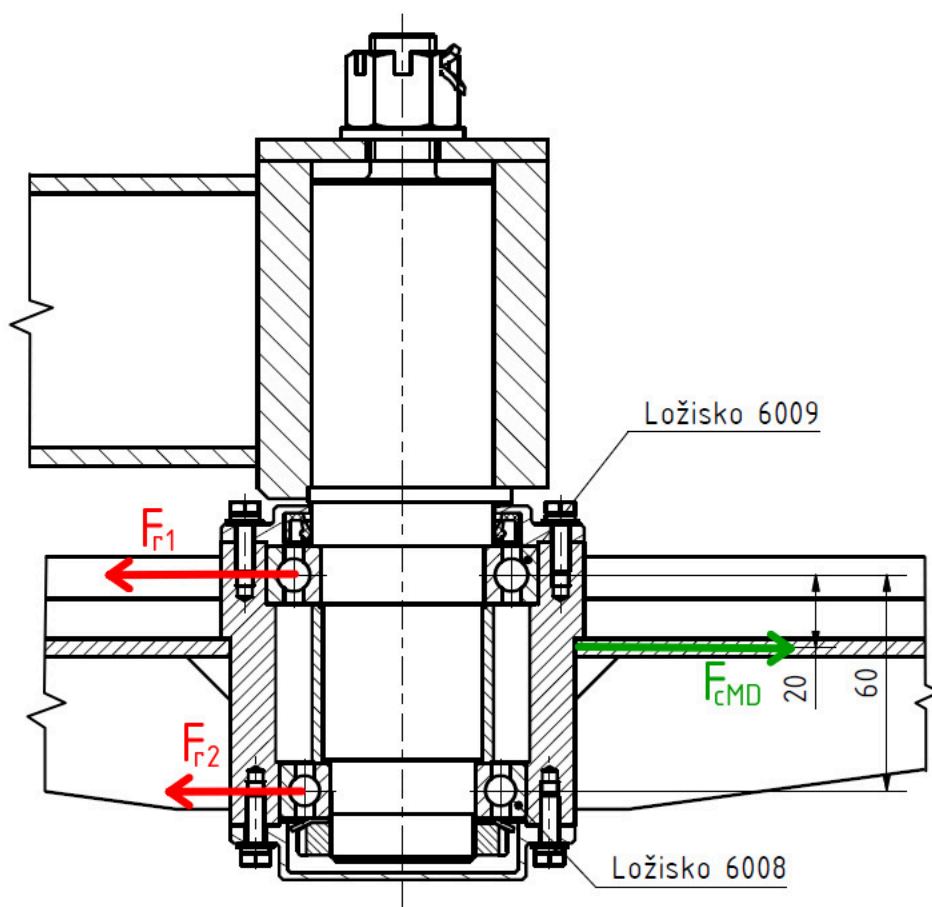
Statická únosnost ložiska 6008 je $C_{0b} = 11600 \text{ [N]}$. [13]

$$F_B = \sqrt{F_{By}^2 + F_{Bz}^2} = \sqrt{3183,3^2 + 2501,1^2} = 4048,3 \text{ [N]} \quad (4.31)$$

$$s_{0b} = \frac{C_{0a}}{F_A} = \frac{11600}{5929,1} = 2,87 [-] \quad (4.32)$$

Nejmenší požadované hodnoty bezpečnosti pro ložiska s bodovým stykem při pomalém otáčení za normálního provozu jsou $s_0=1$. Obě vypočítané statické bezpečnosti tuto hodnotu překračují. Ložiska vyhovují při maximálním předpětí.

Výpočet životnosti za normálního provozu:



Obr. 4.7 Náboj vratné kladky

Z rovnováhy momentů v náboji kladky vyplývají hodnoty radiálních sil:

$$F_{r1} = \frac{40 \cdot F_{cMD}}{60} = \frac{40 \cdot 6002,5}{60} = 4001,7 \text{ [N]} \quad (4.33)$$

$$F_{r2} = \frac{20 \cdot F_{cMD}}{60} = \frac{20 \cdot 6002,5}{60} = 2000,9 \text{ [N]} \quad (4.34)$$

Axiální zatížení jako součet hmotnosti vratné kladky zjištěna pomocí software Autodesk Inventor 2014, $m_k = 17[\text{kg}]$ a poloviny celkové hmotnosti lana.

$$F_a = \left(m_k + \frac{m_L}{2}\right) \cdot g = \left(17 + \frac{14,91}{2}\right) \cdot 9,81 = 239,9 [\text{N}] \quad (4.35)$$

Z důvodů velkého rozdílu velikosti zatížení a ne tak výrazného rozdílu únosností bude kontrolována životnost horního ložiska. Ložisko 6009 se základní únosností dynamickou $C = 22100 [\text{N}]$, statickou únosností $C_{0a} = 14600 [\text{N}]$ a výpočtovým faktorem $f_0 = 15 [-]$. [13]

$$f_0 \cdot \frac{F_a}{C_{0a}} = 15 \cdot \frac{239,9}{14600} = 0,246 [-] \quad (4.36)$$

Ze zjištěného poměru byl lineární interpolací zjištěn součinitel $e_i = 0,203$ pro ložiska s normální vůlí. [13]

$$\frac{F_a}{F_{r1}} = \frac{239,9}{4001,7} = 0,06 \leq e \quad (4.37)$$

Při tomto poměru axiální a radiální síly je ekvivalentní dynamické zatížení ložiska rovno pouze radiální síle. [13] Exponent Wöhlerovy křivky pro kuličková ložiska je roven $p_w = 3 [-]$. [13]

$$P_l = F_{r1} = 4001,7 [\text{N}]$$

Základní trvanlivost ložiska:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n_k} \cdot \left(\frac{C}{P_l}\right)^{p_w} = \frac{10^6}{60 \cdot 30} \cdot \left(\frac{22100}{4001,7}\right)^3 = 93577 [\text{hod}] \quad (4.38)$$

Základní trvanlivost navržených ložisek vyhovuje.

Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh konstrukčního řešení pohonu dětského lyžařského vleku, kde se přepravované osoby drží přímo oběžného lana. Délka vleku je 40m a rychlost lana 1,2m/s. Návrh dále vycházel z určení vleku pro děti do 12 let.

Po zvážení tří možných konstrukčních řešení pohonu vleku byla zvolena varianta s jednoduchým opásáním hnací kladky. Tato konstrukce vyniká univerzálností použití, jednoduchostí montáže a údržby. Nevýhodou této varianty je potřeba vyšší napínací síly, s ohledem na použití vleku však není tato skutečnost příliš výrazná. Pro zlepšení třecích poměrů navíc byla použita pryžová vložka hnací kladky.

Navržená přepravní kapacita vleku je 864 osob za hodinu, výkon motoru byl navržen pro překonání přepravních odporů při této přepravní kapacitě. Pohon vleku bude zajišťovat třífázový asynchronní elektromotor o výkonu 2,2kW s čelní převodovkou a diskovou brzdou. Motor s brzdou a převodovka jsou zvoleny tak aby je bylo možno provozovat ve venkovních podmínkách. Z vypočítaného předpětí byl stanoven interval montážní napínací síly 5002N až 6002N.

Závěrečná část práce se zabývala kontrolou kritických částí pohonu vleku při předpokládaném mezním zatížení. Byla provedena pevnostní kontrola lana, přenosu krouticího momentu pomocí těsného pera a koutového svaru, dále byla provedena kontrola čepu vratné kladky a kontrola uložení kladky v ložiscích. Zjištěné hodnoty bezpečnosti byly ve všech případech vyšší než dovolené pro daný materiál a použití.

Na závěr je možno říci, že bakalářská práce splnila stanovené cíle. Sestavný výkres pohonu vleku, výrobní výkres svařované sestavy hnací kladky a výkres koncové sestavy hnací kladky, jsou obsaženy v příloze práce. Součástí přílohy je rovněž kompletní specifikace zvoleného motoru s převodovkou.

Seznam použité literatury

Knihy a příručky:

- [1] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky*. 3. uprav. a dopl.vyd. Praha: Scientia, 1999, 985 s. ISBN 80-718-3164-6.
- [2] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky 1: pro školu a praxi*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2004, 753 s. ISBN 80-718-3312-6.
- [3] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů: 1. svazek*. 5. přeprac. vyd. (v SNTL 1. vyd.). Praha: SNTL, 1989, 775 s. ISBN 80-030-0046-7.
- [4] REMTA, František a Ladislav KUPKA. *Jeřáby: 1. díl*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1974, 645 s.
- [5] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012, 110 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [6] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonů strojů*. dotisk 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012, 130 s. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [7] BINDER, Róbert. *Lanové dopravné zariadenia a šmyky*. 1. vyd. Bratislava: SVTL, 1957, 149 s.
- [8] ČSN EN 12930. *Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Výpočty*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [9] ČSN EN 1908. *Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Napínací zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [10] Nařízení vlády č. 70/2002 Sb. o technických požadavcích na zařízení pro dopravu osob. 2002.
- [11] Vyhláška ministerstva dopravy č. 100/1995 Sb. o technických požadavcích na zařízení pro dopravu osob. 2002.

- [12] JELEN, Karel. Biomechanika sportu. Praha: Univerzita Karlova Praha – Fakulta Tělesné výchovy a sportu. 4.11.2007, 136 s. Dostupné z: http://www.ftvs.cuni.cz/elstudovna/download.php?dir=./obsah/abi/acro&soubor=Bio_mechanika_sportu.pdf

Firemní literatura a internetové zdroje:

- [13] SKF. *Hlavní katalog*. 2006, 1130 s. Dostupné z: <http://www.dolezal-pe.cz/loiska/katalog-loisek-skf-v-eskm-jazyce-c72.html>
- [14] SEW – EURODRIVE. Addendum to the Operating Instructions: Functional Safety for AC Motors DR.71 – 315. 07/2013. 2013, 44 s. Dostupné z: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/20120958.pdf>
- [15] SEMPERIT. B 1743. 22.8.2003. 2003, 1 s. Dostupné z: http://www.semperflex.com/uploads/tx_AScatalog/files/B1743_e.pdf
- [16] Technické parametry průmyslových a hobby lan. LANEX. Lanex [online]. 2010 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.lanex.cz/technicke-parametry-prumyslovych-a-hobby-lan>
- [17] DriveConfigurator. SEW - EURODRIVE. Sew-eurodrive.com/ [online]. Version 2.14. 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <https://portal.drivegate.biz/irj/portal/configurator>
- [18] Data Table of Weight-for-age Charts. CENTERS FOR DISEASESE CONTROL AND PREVENTION. CDC.gov [online]. 2001 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.cdc.gov/growthcharts/html_charts/wtage.htm
- [19] Typ LPVE 1,5 - 100. B+J MIKESKA. Vleky.cz [online]. 2009 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.vleky.cz/cs_CZ/produkty/typ-lpve-3-120-b/

Zdroje obrázků:

- [20] ABEGGLEN, Martin. Skilift [online]. 2012 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/twicepix/6917998229/in/photostream/>
- [21] Ski tow [online]. 2005 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.freeimages.com/photo/267552>

- [22] Ski tow in Valle del Sol [online]. 2006 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ski_tow_in_Valle_del_Sol.jpg
- [23] SNOWTUBING. *HEIPARK Tošovice* [online]. 2012 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z:
<http://www.heipark.cz/snowtubing.php>
- [24] Lyžařský vlek s nízkým vedením lana - KINDLE. MICHÁLEK S.R.O.
Micháleksro.cz [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z:
<http://www.michaleksro.cz/index.php?cat=3-2-1&banner=&subact=photo&photo=obrazky%2Fkindle%2Fps.jpg>
- [25] Typ LPVE 1,5 - 100. B+J MIKESKA. *Vleky.cz* [online]. 2009 [cit. 2014-05-16].
Dostupné z: http://www.vleky.cz/cs_CZ/produkty/typ-lpve-1-5-100/
- [26] Sunkid SWISSCORD. SUNKID. SunKid [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z:
<http://www.sunkidworld.com/sunkid-newsarchiv/sunkid-swisscord.html>

Použitý software:

Autodesk Inventor Professional 2014

Autodesk Showcase 2014

Microsoft Word 2010

Microsoft Excel 2010

Seznam příloh

Název	Označení	Formát
Pohon vleku	MEC0014-BP.00	A1
Pohon vleku (Kusovník)	MEC0014-BP.00.K	A4
Hnací kladka	MEC0014-BP.01	A2
Hnací kladka - svařenec	MEC0014-BP.01.0	A2
Specifikace pohonu [17]	Příloha: A	A4
CD-ROM s kompletní prací		

Poděkování

Rád bych poděkoval paní Ing. Šárce Hurníkové, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.